





DiCES:

# Digital Transformation of Circular Economy for Industrial Sustainability

Von linearem zu zirkulärem Wertschöpfungssystem:  
Implementierung von ReX-Strategien in die Auftragsabwicklung



## From a Linear to a Circular Value Chain System: Implementation of ReX Strategies in Order Processing

Gemeinsam mit *Miele & Cie. KG*, dem *Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen*, *All for One Group S*, *Forcam GmbH*, *IconPro GmbH* und *Klima.Metrix GmbH* arbeitet der *FIR e. V. an der RWTH Aachen* als Konsortialführer an einem wegweisenden Projekt, das die Art und Weise verändern wird, wie produzierende Unternehmen in Zukunft arbeiten werden. Ziel ist es, ein innovatives, datenbasiertes Wertschöpfungssystem zu entwickeln, das die Kreislaufwirtschaft nahtlos in den operativen Geschäftsbetrieb von Unternehmen integriert. Hierbei werden durch den Einsatz von KI-Modellen prädiktive Vorhersagen der Kreislaufwirtschaftsaufwände für Produkte im Nutzungszyklus ermöglicht, um eine optimale Kreislaufwirtschaftsstrategie zu definieren, die sowohl ökonomische als auch ökologische Aspekte berücksichtigt. Das Projekt basiert auf der Entwicklung einer multizirkulären Auftragsabwicklung und einer skalierbaren, hybriden Produktion. Zusätzlich untersuchen wir die Auswirkungen auf die Produktkonfiguration und kreislaufwirtschaftsfähige Geschäftsmodelle. Die praxisnahe und validierte Implementierung zeigt die Umsetzbarkeit des Vorhabens und eröffnet ein breites Anwendungsfeld in der gesamten deutschen Industrie. >

Together with *Miele & Cie KG*, the *Laboratory for Machine Tools and Production Engineering (WZL) of RWTH Aachen University*, *All for One Group SE*, *Forcam GmbH*, *IconPro GmbH*, and *Klima.Metrix GmbH*, *FIR at RWTH Aachen University* as consortium leader is working on a groundbreaking project that will change the way manufacturing companies work. The goal is to develop an innovative, data-based value chain system that seamlessly integrates circular economy principles into companies' operations. The use of AI models will enable predictive forecasts of circular economy expenditures for products in the use cycle in order to define an optimal circular economy strategy that takes into account both economic and environmental aspects. The project is based on the development of a multi-circular order processing system and a scalable hybrid production system. Additionally, we investigate the impact on product configuration and circular economy-enabled business models. The practical and validated implementation demonstrates the feasibility of the project and opens up a wide field of application for the German industry. >

Die Bedeutung der Kreislaufwirtschaft hat in den letzten Jahren stark zugenommen, da immer mehr Unternehmen erkannt haben, dass die herkömmliche lineare Wertschöpfung, bei der Ressourcen verbraucht werden und Abfall produziert wird, auf lange Sicht nicht nachhaltig ist<sup>1</sup>. Kreislaufwirtschaft dagegen zielt darauf ab, Ressourcen zu erhalten und Abfall zu minimieren, indem Materialien und Produkte so gestaltet werden, dass sie am Ende ihres Lebenszyklus wiederverwendet, repariert oder recycelt werden können<sup>2</sup>.

Die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft ist jedoch nicht einfach. Sie erfordert die Zusammenarbeit von Unternehmen, Regierungen, Wissenschaftler:innen und Verbraucher:innen, um die notwendigen Änderungen in der Art und Weise, wie wir produzieren, konsumieren und entsorgen, umzusetzen. Eine der größten Herausforderungen besteht darin, dass viele Unternehmen immer noch in linearen Wertschöpfungsketten denken und produzieren und es ihnen schwerfällt, auf eine Kreislaufwirtschaft umzustellen.

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, ist eine multidimensionale Kreislaufwirtschaft erforderlich, die sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte berücksichtigt. Eine solche Kreislaufwirtschaft erfordert ein integriertes Wertschöpfungssystem, das die Interaktion zwischen den verschiedenen Akteuren entlang des Produktlebenszyklus fördert und eine nachhaltige Wertschöpfung ermöglicht. Dies erfordert weiterhin eine datenbasierte Entscheidungsunterstützung, die es den Unternehmen ermöglicht, Entscheidungen auf der Grundlage von Daten zu treffen, die aus Entwicklungs-, Produktions- und Nutzungszyklen gewonnen werden. Durch die Schaffung eines solchen Systems können Unternehmen wie *Miele* als Vorreiter in der Entwicklung und Implementierung von Kreislaufwirtschaftskonzepten dienen und die Skalierung dieser Ansätze in der Industrie fördern.

## Lösungsansatz

Insgesamt ist die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft von großer Bedeutung für die zukünftige Nachhaltigkeit der Industrie. Durch die Entwicklung eines datenbasierten integrierten Wertschöpfungssystems der multidimensionalen Kreislaufwirtschaft kann die Umstellung auf eine ressourcenschonende und nachhaltige Produktion erleichtert werden (Figure 1, S. 95).

The importance of the circular economy has greatly increased in recent years, as more and more companies have realized that traditional linear value creation, which consumes resources and produces waste, is not sustainable in the long term.<sup>1</sup> A circular economy, on the other hand, aims to conserve resources and minimize waste by designing materials and products in such a way that they can be reused, repaired, or recycled at the end of their life cycle.<sup>2</sup>

However, implementing a circular economy is not easy. It requires businesses, governments, researchers, and consumers to work together to implement the necessary changes in the way we produce, consume, and dispose. One of the biggest challenges is that many companies still think in terms of linear value chains and find it difficult to shift to a circular economy.

To overcome these challenges, a multidimensional circular economy is needed that takes into account both environmental and economic aspects. Such a circular economy requires an integrated value chain system that promotes interaction between different actors along the product life cycle and makes sustainable value creation possible. This further requires data-based decision support that enables companies to make decisions based on data obtained from development, production, and use cycles. By creating such a system, companies such as *Miele* can serve as a pioneer in the development and implementation of circular economy concepts and promote the scaling of these approaches in industry.

## Solution Approach

Establishing a circular economy is of great importance for the future sustainability of industry. Developing a data-based, integrated value chain system for a multi-dimensional circular economy facilitates the transition to a resource-conserving, sustainable production (see Figure 1, p. 95).

The project pursues the following two sub-goals:

- **Multidimensional circular economy:** Simultaneous implementation of several circular economy strategies (re-manufacture, re-furbish, re-use, and re-pair) for a product (e.g. washing machine). Based on the characteristics of the product and the value chain system, the environmentally and economically optimal circular economy strategy is selected.

<sup>1</sup> S. ANDRONICEANU ET AL. 2021; WILTS U. GRIES 2017

<sup>2</sup> S. BMBF 2018; LIEDER U. RASHID 2016

<sup>1</sup> ANDRONICEANU ET AL. 2021; WILTS U. GRIES 2017

<sup>2</sup> BMBF 2018; LIEDER U. RASHID 2016

Im Projekt werden die folgenden zwei konkreten Teilziele verfolgt:

- Multidimensionale Kreislaufwirtschaft:** Eine parallele Umsetzung mehrerer Kreislaufwirtschaftsstrategien (*Re-manufacturing*, *Re-furbish*, *Re-use* und *Re-pair*) für ein Produkt (z. B. Waschmaschine), wobei basierend auf den Eigenschaften des Produkts und des Wertschöpfungs-systems die ökologische und ökonomische optimale Kreislaufwirtschaftsstrategie ausgewählt wird.
- Datenbasiertes integriertes Wertschöpfungs-systeme:** Integration der Elemente der multidimensionalen Kreislaufwirtschaft durch eine datenbasierte Vernetzung der Produktions- und lebenszyklusumfassenden IT-Systeme zur Schaffung nachhaltigen Kundenmehrwerts.

Um ein derartiges Wertschöpfungs-system zu realisieren, sind mehrere Elemente erforderlich, wie sie in Bild 1 dargestellt sind und im Folgenden erläutert werden.

## 1. Nachhaltige Produktkonfiguration

Hierbei sollen Produkte so gestaltet werden, dass sie optimal in die Kreislaufwirtschaft passen, ergo eine möglichst hohe Wiederverwendbarkeit, Austauschbarkeit und Recyclingfähigkeit aufweisen. Bei der Berücksichtigung werden unterschiedliche Aspekte einbezogen, darunter Materialzusammensetzungen

**Data-based integrated value chain systems:** Integration of the elements of a multi-dimensional circular economy through data-based networking of the production and life cycle-encompassing IT systems to create sustainable added value for the customer.

To realize such a value chain system, several elements are required, as shown in Figure 1 and further explained below.

### 1. Sustainable product configuration

Products are to be designed in such a way that they optimally fit into the circular economy, i. e. have the highest possible reusability, interchangeability, and recyclability. Different aspects are taken into account, including material composition – for example, the use of environmentally friendly materials and product features that are well suited for a circular economy, such as a modular product structure or design for disassembly.

### 2. Data-based decision model and ReX prediction

An important building block is the decision model. The decision model is designed to help select the optimal ReX strategy, based on data from a product twin and the

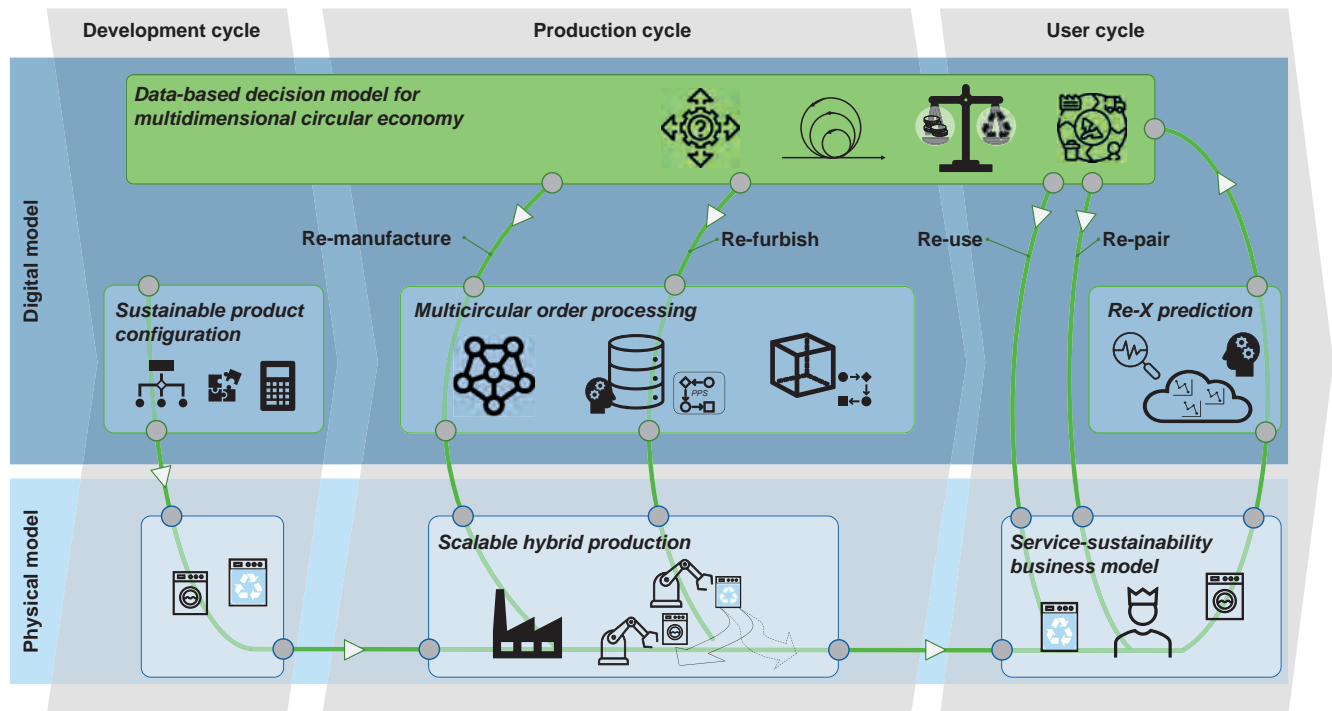


Figure 1: DiCES target picture – Data-based integrated value chain system for a multidimensional circular economy (own illustration)



wie die Verwendung von umweltfreundlichen Materialien sowie kreislaufgerechte Produktmerkmale wie der modulare Aufbau von Produkten oder *Design for Disassembly*.

## 2. Datenbasiertes Entscheidungsmodell und ReX-Prediction

Ein wichtiger Baustein ist das Entscheidungsmodell. Das Entscheidungsmodell soll die optimale Auswahl der ReX-Strategie, basierend auf Daten eines Produktzwillings und den Eigenschaften des Wertschöpfungssystems, ermöglichen. Das Modell nutzt Informationen eines KI-Modells, das auf digitalen Produktzwillingen basiert und eine prädiktive Planung der ReX-Strategien und der dazugehörigen Beschaffungs- und Ressourcennotwendigkeiten ermöglicht. Mithilfe dieses Entscheidungsmodells können Unternehmen eine wettbewerbsfähige Kreislaufwirtschaft aufbauen, indem sie ökologische Faktoren berücksichtigen und den höheren Durchdringungsgrad von Kreislaufprodukten erreichen.

## 3. Multizirkuläre Auftragsabwicklung

Eine multizirkuläre Auftragsabwicklung wird entwickelt, um eine flexible, simultane Demontage, Aufbereitung und Neuproduktion von ReX-Produkten zu ermöglichen. Um diese Auftragsabwicklung zu unterstützen, werden die bestehenden IT-Systeme *S4/HANA* und *Digital Manufacturing Cloud (DMC)* von SAP angepasst und Funktionsmodule für die multizirkuläre Auftragsabwicklung entwickelt. Dadurch wird eine datenbasierte Unterstützung der zirkulären Auftragsabwicklung möglich, die eine schnelle Reaktion auf steigende Stückzahlen von ReX-Produkten ermöglicht. Die angestrebte Modularisierung der IT-Systemlandschaft der multizirkulären Auftragsabwicklung ermöglicht die Nutzung der Ergebnisse durch andere IT-Lösungsanbieter. Durch die integrierte datenbasierte Entscheidungs-

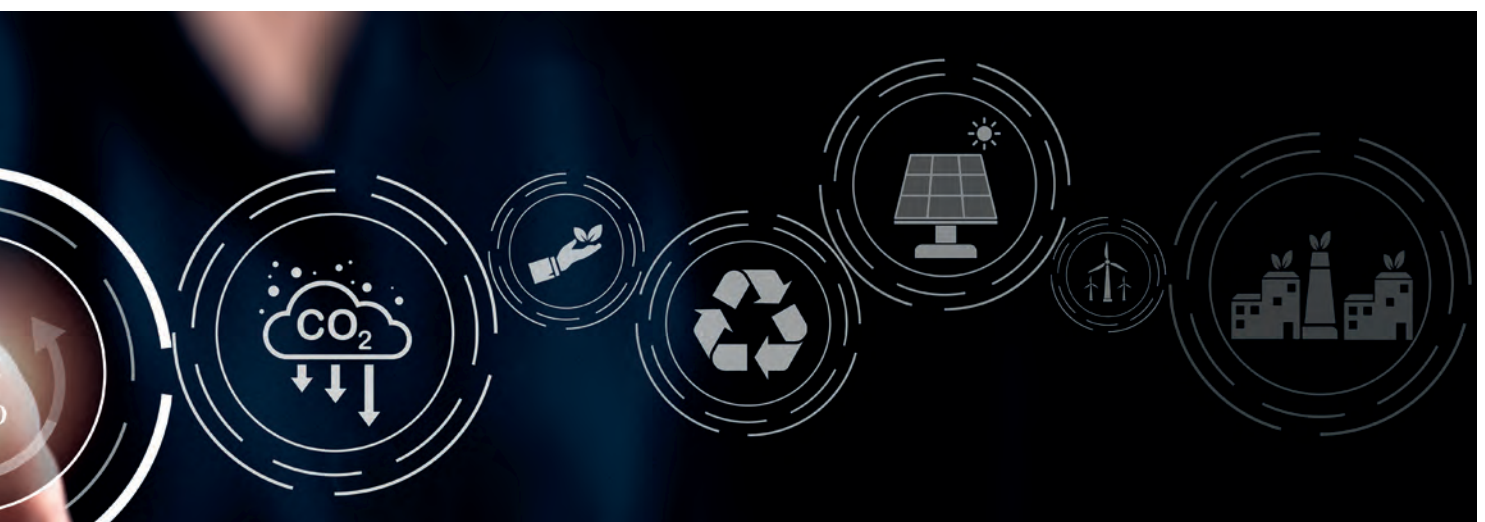
characteristics of the value chain system. The model uses information from an AI model based on digital product twins to enable predictive planning of ReX strategies and associated procurement and resource needs. With the help of this decision model, enterprises can build a competitive circular economy by considering environmental factors and achieving a higher penetration rate of circular products.

## 3. Multi-circular Order Processing

A multi-circular order processing system is developed to enable flexible, simultaneous disassembly, reprocessing, and new production of ReX products. To support this order processing system, SAP's existing *S4/HANA* and *Digital Manufacturing Cloud (DMC)* IT systems will be adapted and functional modules for multicircular order processing will be developed. This will enable data-based support for circular order processing, which makes possible a rapid response to increasing quantities of ReX products. The intended modularization of the IT system landscape for multi-circular order processing enables the use of the results by other IT solution providers. Integrated data-based decision support will determine an ecologically and economically optimal disassembly depth, leading to improved station design and a higher degree of flexibility for the manufacture of circular products.

## 4. Scalable Hybrid Production

A scalable hybrid production system will be developed to allow flexible simultaneous disassembly, reprocessing, and new production of ReX products. In this process, workstation concepts will be empowered by integrated data-based decision support system to determine the ecologically and economically optimal disassembly depth. By utilizing this technology,



unterstützung wird eine ökologisch und ökonomisch optimale Demontagetiefe bestimmt, was zu einer verbesserten Stationskonzeption und einem höheren Grad an Flexibilität für die Produktion von Kreislaufprodukten führt.

#### 4. Skalierbare hybride Produktion

Es wird eine skalierbare hybride Produktion entwickelt, die eine flexible simultane Demontage, Aufbereitung und Neuproduktion von ReX-Produkten ermöglicht. Dabei werden die Konzepte für die Arbeitsstationen durch eine integrierte datenbasierte Entscheidungsunterstützung zur Bestimmung der ökologisch und ökonomisch optimalen Demontagetiefe befähigt. Durch die Nutzung dieser Technologie wird eine wettbewerbsfähige Produktion von Kreislaufprodukten durch den notwendigen Grad an Flexibilität zur Reaktion auf steigende Stückzahlen von ReX-Produkten im Sinne der Skalierbarkeit ermöglicht.

#### 5. Service-Sustainability-Geschäftsmodell

Das Geschäftsmodell wird erweitert, sodass verschiedene Services mit variierenden monetären und nachhaltigkeitsorientierten Eigenschaften definiert werden. Durch die Produktwiederverwendung sollen Kunden befähigt werden, nachhaltiger zu handeln.

gd · pu

competitive production of recycled products is made possible with the necessary degree of flexibility to respond to increasing volumes of ReX products in terms of scalability.

#### 5. Service sustainability Business Model

The business model is extended so that different services with varying monetary and sustainability-oriented properties are defined. Customers are to be empowered to act more sustainably by reusing products.

gd · pu

Literatur:

ANDRONICEANU, A.; KINNUNEN, J.; GEORGESCU, I.: Circular economy as a strategic option to promote sustainable economic growth and effective human development. In: Journal of International Studies 14(2021)1, S. 60 – 73. DOI: 10.14254/2071-8330.2021/14-1/4.

BMBF (HRSG.): Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft. Forschungskonzept für eine kreislaufoptimierte Wirtschaftsweise. Bonn, Juni 2018. [https://www.fona.de/medien/pdf/Ressourceneffiziente\\_Kreislaufwirtschaft.pdf](https://www.fona.de/medien/pdf/Ressourceneffiziente_Kreislaufwirtschaft.pdf) (Link zuletzt geprüft: 09.03.2023)

LIEDER, M.; RASHID, A.: Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. In: Journal of Cleaner Production 115(2016)1, S. 36 – 51. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.12.042.L

WILTS, H.; GRIES, N. v.: Der schwere Weg zur Kreislaufwirtschaft. In: Gesellschaft, Wirtschaft, Politik (GWP) 66(2017)1, S. 23 – 28. DOI: 10.3224/gwp.v66i1.02.

This research project offers a unique opportunity to actively participate in the design and implementation of a multidimensional value chain system. By implementing a circular economy approach in your company, you not only contribute to a more sustainable future, but also strengthen your competitiveness in this future-oriented field.

Thanks to the collaboration with leading technology companies and research institutes, you can draw on the extensive knowledge and expertise of the project participants and benefit from innovative solutions.

The project also offers you the opportunity to contribute your own experience and ideas and thus actively participate in the development of a multidimensional value creation system. If you are interested in participating in the project, please feel free to contact the project team for more information.

**Project Title:** DiCES – Digital Transformation of Circular Economy for Industrial Sustainability

**Project Partners:** Miele & Cie. KG; All For One Group SE; Forcam GmbH; Klima. Metrix GmbH; IconPro GmbH

**Website:** [dices.fir.de](https://dices.fir.de)



Antoine Gaillard, M. Eng.  
Project Manager · Department Production Management  
FIR e. V. at RWTH Aachen University  
Phone: +49 241 47705-412  
Email: [Antoine.Gaillard@fir.rwth-aachen.de](mailto:Antoine.Gaillard@fir.rwth-aachen.de)



Martin Perau, M. Sc.  
Project Manager · Department Production Management  
FIR e. V. at RWTH Aachen University  
Phone: +49 241 47705-416  
Email: [Martin.Perau@fir.rwth-aachen.de](mailto:Martin.Perau@fir.rwth-aachen.de)